



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 199 29 088 C 1

51 Int. Cl. 7:
F 22 B 29/06

21 Aktenzeichen: 199 29 088.1-42
22 Anmeldetag: 24. 6. 1999
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 24. 8. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Pulec, Josef, Dipl.-Ing. (FH), 91074 Herzogenaurach,
DE; Kral, Rudolf, Dipl.-Ing. (FH), 91058 Erlangen, DE

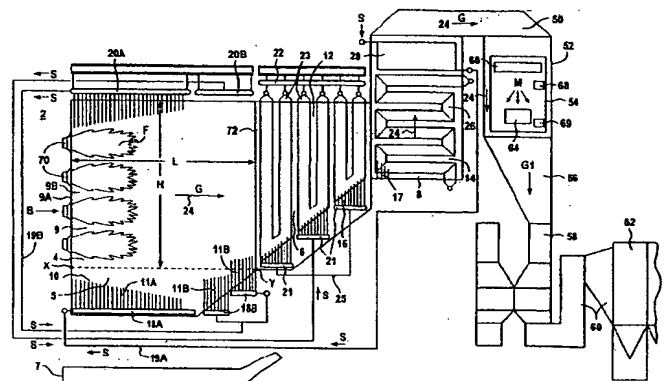
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 36 16 095 C2

J. Franke et al.: "Verdampferkonzepte für Benson-
Dampferzeuger", in: VGB Kraftwerkstechnik
73, 1993,
H.4, S.352-360;

54 Fossilbeheizter Dampferzeuger mit einer Entstickungseinrichtung für Heizgas

57 Ein Dampferzeuger (2) weist eine Entstickungseinrichtung für Heizgas (G) und eine Brennkammer (4) auf, der heizgasseitig über einen Horizontalgaszug (6) und einen Vertikalgaszug (8) die Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) nachgeschaltet ist. Der Dampferzeuger soll nun einen besonders geringen Platzbedarf aufweisen sowie besonders zuverlässig eine Entstickung der Heizgase (G) des fossilen Brennstoffs (B) gewährleisten. Hierzu weist die Brennkammer eine Anzahl von in der Höhe des Horizontalgaszugs (6) angeordneten Brennern (70) auf. Außerdem ist der Vertikalgaszug (8) für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases (G) von unten nach oben und die Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases (G) von oben nach unten ausgelegt.



DE 199 29 088 C 1

DE 199 29 088 C 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen Dampferzeuger mit einer Entstickungseinrichtung für Heizgas und mit einer Brennkammer für fossilen Brennstoff, der heizgasseitig über einen Horizontalgaszug und einen Vertikalgaszug die Entstickungseinrichtung für Heizgas nachgeschaltet ist.

Bei einer Kraftwerksanlage mit einem Dampferzeuger wird das bei der Verbrennung eines fossilen Brennstoffs erzeugte Heizgas zur Verdampfung von einem Strömungsmedium im Dampferzeuger genutzt. Der Dampferzeuger weist zur Verdampfung des Strömungsmediums Verdampferrohre auf, deren Beheizung mit Heizgas zu einer Verdampfung des darin geführten Strömungsmediums führt. Der durch den Dampferzeuger bereitgestellte Dampf wiederum kann beispielsweise für einen angeschlossenen externen Prozeß oder aber für den Antrieb einer Dampfturbine vorgesehen sein. Treibt der Dampf eine Dampfturbine an, so wird über die Turbinenwelle der Dampfturbine üblicherweise ein Generator oder eine Arbeitsmaschine betrieben. Im Falle eines Generators kann der durch den Generator erzeugte Strom zur Einspeisung in ein Verbund- und/oder Inselnetz vorgesehen sein.

Der Dampferzeuger kann dabei als Durchlaufdampferzeuger ausgebildet sein. Ein Durchlaufdampferzeuger ist aus dem Aufsatz "Verdampferkonzepte für Benson-Dampferzeuger" von J. Franke, W. Köhler und E. Wittchow, veröffentlicht in VGB Kraftwerkstechnik 73 (1993), Heft 4, S. 352-360, bekannt. Bei einem Durchlaufdampferzeuger führt die Beheizung von als Verdampferrohren vorgesehenen Dampferzeugerrohren zu einer Verdampfung des Strömungsmediums in den Dampferzeugerrohren in einem einmaligen Durchlauf.

Dampferzeuger werden üblicherweise mit einer Brennkammer in vertikaler Bauweise ausgeführt. Dies bedeutet, daß die Brennkammer für eine Durchströmung des beheizenden Mediums oder Heizgases in annähernd vertikaler Richtung ausgelegt ist. Heizgasseitig kann der Brennkammer dabei ein Horizontalgaszug nachgeschaltet sein, wobei beim Übergang von der Brennkammer in den Horizontalgaszug eine Umlenkung des Heizgasstroms in eine annähernd horizontale Strömungsrichtung erfolgt. Derartige Brennkammern erfordern jedoch im allgemeinen aufgrund der temperaturbedingten Längenänderungen der Brennkammer ein Gerüst, an dem die Brennkammer aufgehängt wird. Dies bedingt einen erheblichen technischen Aufwand bei der Herstellung und Montage des Dampferzeugers, der um so größer ist, je größer die Bauhöhe des Dampferzeugers ist.

Ein besonderes Problem stellt die Auslegung der Umfassungswand des Gaszuges oder Brennkammer des Dampferzeugers im Hinblick auf die dort auftretenden Rohrwand- oder Materialtemperaturen dar. Im unterkritischen Druckbereich bis etwa 200 bar wird die Temperatur der Umfassungswand der Brennkammer im wesentlichen von der Höhe der Sättigungstemperatur des Wassers bestimmt. Dies wird beispielsweise durch die Verwendung von Verdampferrohren erzielt, die auf ihrer Innenseite eine Oberflächenstruktur aufweisen. Dazu kommen insbesondere innberippte Verdampferrohre in Betracht, deren Einsatz in einem Durchlaufdampferzeuger beispielsweise aus dem oben zitierten Aufsatz bekannt ist. Diese sogenannten Rippenrohre, d. h. Rohre mit einer berippten Innenoberfläche, haben einen besonders guten Wärmeübergang von der Rohrinnenwand zum Strömungsmedium.

Zur Stickoxidminderung des Heizgases des fossilen Brennstoffs kann das Verfahren der Selektiven Katalytischen Reduktion, das sogenannte SCR-Verfahren, eingesetzt werden. Bei dem SCR-Verfahren werden Stickoxide (NO_x) mit Hilfe eines Reduktionsmittels, beispielsweise Ammoniak, und eines Katalysators zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) reduziert.

Bei einem für ein SCR-Verfahren ausgelegten Dampferzeuger ist üblicherweise nach dem als Konvektionszug ausgebildeten Heizgaskanal, wo üblicherweise das Heizgas eine Temperatur von etwa 320 bis 400°C aufweist, eine Entstickungseinrichtung für Heizgas mit einem Katalysator angeordnet. Der Katalysator der Entstickungseinrichtung für Heizgas dient dazu, eine Reaktion zwischen dem in dem Heizgas eingebrachten Reduktionsmittel und den Stickoxiden des Heizgases einzuleiten und/oder aufrechtzuerhalten. Das zum SCR-Verfahren benötigte Reduktionsmittel wird dabei üblicherweise mit Luft als Trägerstrom in das den Gaszug durchströmende Heizgas eingedüst. Die Stickoxid-Emission des Dampferzeugers ist jedoch in der Regel abhängig von der Art des verbrannten fossilen Brennstoffs. Um die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte einzuhalten, wird daher üblicherweise die einzudüsende Reduktionsmittelmenge in Abhängigkeit von dem eingesetzten fossilen Brennstoff variiert.

Eine ausgangsseitig nach dem Konvektionszug angeordnete Entstickungseinrichtung für Heizgas erfordert jedoch einen erheblichen Konstruktions- und Herstellungsaufwand für den jeweiligen Dampferzeuger. Denn die Entstickungseinrichtung muß dort im Dampferzeuger angeordnet werden, wo sie bei allen Betriebszuständen des Dampferzeugers einen besonders hohen Reinigungseffekt auf das Heizgas ausüben kann. Dies ist üblicherweise dort der Fall, wo das Heizgas eine Temperatur im Bereich von etwa 320 bis 400°C aufweist. Außerdem vergrößert sich der Herstellungsaufwand eines Dampferzeugers, wenn dieser neben üblichen Komponenten zusätzlich eine Entstickungseinrichtung aufweist.

So geht nach der DE 36 16 095 C ein vertikaler Strahlungsfeuerraum in einen Horizontalzug über, der oben in einen vertikalen Konvektionszug mit einem Economiser mündet, der mit Speisewasser betrieben wird, dessen Temperatur über die Zumischung von heißem Rücklaufwasser einstellbar ist. Unterhalb des Economiser ist eine Katalysatoreinheit zur Reduktion von Stickoxiden angeordnet, die auch bei Teillast auf etwa 370°C erwärmt ist. Bei Teillast wird nämlich der Rücklauf am Economiser derart geöffnet, daß dort bereits die Speisewasser-Temperatur derart erhöht wird, daß dem Rauchgas im Economiser praktisch keine Wärme entzogen wird, sondern das Rauchgas auch bei Teillast die erforderliche Reaktionstemperatur für die katalytische Stickoxid-Reduktion besitzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen fossilbeheizten Dampferzeuger der oben genannten Art anzugeben, der einen besonders geringen Konstruktions- und Herstellungsaufwand erfordert, und bei dem besonders zuverlässig eine Reinigung des Heizgases des fossilen Brennstoffs gewährleistet ist, bevor diese den Dampferzeuger ausgangsseitig verlassen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem die Brennkammer des Dampferzeugers eine Anzahl von in der Höhe des Horizontalgaszuges angeordneten Brennern umfaßt, wobei der Vertikalgaszug für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases von unten nach oben und die Entstickungseinrichtung für Heizgas für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases von oben nach unten ausgelegt ist.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß ein mit besonders geringem Herstellungs- und Montageaufwand erstellbarer Dampferzeuger eine mit einfachen Mitteln ausführbare Aufhängekonstruktion aufweisen sollte. Ein mit vergleichsweise geringem technischem Aufwand zu erstellendes Gerüst für die Aufhängung der Brennkammer kann dabei einhergehen mit einer besonders geringen Bauhöhe des Dampferzeugers. Eine besonders geringe Bauhöhe des Dampferzeugers ist erzielbar, indem die Brennkammer in horizontaler Bauweise ausgeführt ist. Hierzu sind die Brenner in der Höhe des Horizontalgaszugs in der Brennkammerwand angeordnet. Somit wird die Brennkammer beim Betrieb des Dampferzeugers in annähernd horizontaler Richtung von dem Heizgas durchströmt.

Für eine besonders zuverlässige Reinigung des Heizgases des fossilen Brennstoffs sollte die Entstickungseinrichtung für Heizgas ausgangsseitig nach dem Vertikalgaszug angeordnet sein. Ausgangsseitig nach dem Vertikalgaszug weist nämlich das Heizgas Temperaturen auf, bei denen eine Reinigung des Heizgases mit geringem technischen Aufwand besonders effektiv erfolgt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß für eine besonders geringe Bauhöhe des Dampferzeugers die Entstickungseinrichtung für Heizgas für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases von oben nach unten ausgelegt sein sollte. Hierdurch ist eine Eindüsung der bei dem SCR-Verfahren erforderlichen Flüssigkeit mit Ammoniakanteilen entlang der Hauptströmungsrichtung des Heizgases möglich, wodurch die vertikale Ausdehnung der Entstickungseinrichtung besonders gering ausfällt.

Bei einem Dampferzeuger mit einer Brennkammer, die in annähernd horizontaler Hauptströmungsrichtung von Heizgas durchströmbar ist, strömen nun aber die Heizgase nach Verlassen des Horizontalgaszugs im Vertikalgaszug abwärts. Um nun das Heizgas in der Entstickungseinrichtung für Heizgas annähernd vertikal von oben nach unten strömen zu lassen ist daher ein Kanal für das Heizgas erforderlich, in dem das Heizgas ausgangsseitig nach dem Vertikalgaszug von unten nach oben geführt wird um dann in die von oben nach unten durchströmbare Entstickungseinrichtung für Heizgas zu gelangen. Dieser zusätzliche Kanal ist nicht erforderlich, wenn der Vertikalgaszug für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases von unten nach oben und die für das Heizgas vorgesehene Entstickungseinrichtung für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases von oben nach unten ausgelegt ist.

Vorteilhafterweise ist das die Entstickungseinrichtung für Heizgas verlassende gereinigte Heizgas zur Erwärmung von Luft in einem Luftvorwärmer einsetzbar. Der Luftvorwärmer sollte dabei in besonders platzsparender Weise direkt unterhalb der Entstickungseinrichtung für Heizgas angeordnet werden. Die vorgewärmte Luft ist den Brennern des Dampferzeugers für die Verbrennung des fossilen Brennstoffs zuzuführen. Wird den Brennern warme Luft im Gegensatz zu kalter Luft bei der Verbrennung des fossilen Brennstoffs zugeführt, so steigt der Gesamtwirkungsgrad des Dampferzeugers.

Die Entstickungseinrichtung für Heizgas umfaßt vorteilhafterweise einen DeNO_x -Katalysator. Denn dann kann eine Stickoxidminderung des den Dampferzeuger verlassenden Heizgases in besonders einfacher Weise beispielsweise mit dem Verfahren der Selektiven Katalytischen Reduktion durchgeführt werden.

Die Umfassungswände der Brennkammer sind vorteilhafterweise aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Verdampferrohren gebildet, von denen jeweils eine Anzahl parallel mit Strömungsmedium beaufschlagbar ist.

Vorteilhafterweise ist eine Umfassungswand der Brennkammer die Stirnwand und zwei Umfassungswände der Brennkammer sind die Seitenwände, wobei die Seitenwände jeweils in eine erste Gruppe und in eine zweite Gruppe der Verdampferrohre unterteilt sind, wobei die Stirnwand und die erste Gruppe der Verdampferrohre parallel mit Strömungsmedium beaufschlagbar und der parallel mit Strömungsmedium beaufschlagbaren, zweiten Gruppe der Verdampferrohre strömungsmediumsseitig vorgeschaltet sind. Dadurch ist eine besonders günstige Kühlung der Stirnwand gewährleistet.

Vorteilhafterweise ist den jeweils parallel mit Strömungsmedium beaufschlagbaren Verdampferrohren strömungsmediumsseitig ein gemeinsames Eintrittssammler-System vorgeschaltet und ein gemeinsames Austrittssammler-System nachgeschaltet. Ein in dieser Ausgestaltung ausgeführter Dampferzeuger ermöglicht einen zuverlässigen Druckausgleich zwischen den parallel geschalteten Verdampferrohren und somit eine besonders günstige Verteilung des Strömungsmediums bei der Durchströmung der Verdampferrohre.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist der Rohrrinnendurchmesser einer Anzahl der Verdampferrohre der Brennkammer abhängig von der jeweiligen Position der Verdampferrohre in der Brennkammer gewählt. Auf diese Weise sind die Verdampferrohre in der Brennkammer an ein gasseitig vorgebbares Beheizungsprofil anpaßbar. Mit dem hierdurch bewirkten Einfluß auf die Durchströmung der Verdampferrohre sind besonders zuverlässig Temperaturunterschiede am Auslaß der Verdampferrohre der Brennkammer gering gehalten.

Für eine besonders gute Wärmeübertragung von der Wärme der Brennkammer auf das in den Verdampferrohren geführte Strömungsmedium weist vorteilhafterweise eine Anzahl der Verdampferrohre auf ihrer Innenseite jeweils ein mehrgängiges Gewinde bildende Rippen auf. Dabei ist vorteilhafterweise ein Steigungswinkel α zwischen einer zur Rohrachse senkrechten Ebene und den Flanken der auf der Rohrinneinnenseite angeordneten Rippen kleiner als 60° , vorzugsweise kleiner als 55° .

In einem beheizten, als Verdampferrohr ohne Innenberippung, einem sogenannten Glatтроhr, ausgeführten Verdampferrohr kann nämlich von einem bestimmten Dampfgehalt an die für einen besonders guten Wärmeübergang erforderliche Benetzung der Rohrwand nicht mehr aufrechterhalten werden. Bei fehlender Benetzung kann eine stellenweise trockene Rohrwand vorliegen. Der Übergang zu einer derartigen trockenen Rohrwand führt zu einer Art Wärmeübergangskrise mit verschlechtertem Wärmeübergangsverhalten, so daß im allgemeinen die Rohrwandtemperaturen an dieser Stelle besonders stark ansteigen. In einem innenberippten Rohr tritt aber nun im Vergleich zu einem Glatтроhr diese Krise des Wärmeübergangs erst bei einem Dampfmassegehalt $> 0,9$, also kurz vor dem Ende der Verdampfung, auf. Das ist auf den Drall zurückzuführen, den die Strömung durch die spiralförmigen Rippen erfährt. Aufgrund der unterschiedlichen Zentrifugalkraft wird der Wasser- vom Dampfanteil separiert und an die Rohrwand gedrückt. Dadurch wird die Benetzung der Rohrwand bis zu hohen Dampfgehalten aufrechterhalten, so daß am Ort der Wärmeübergangskrise bereits hohe Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen. Das bewirkt trotz der Wärmeübergangskrise einen guten Wärmeübergang und als Folge niedrige Rohrwandtemperaturen.

Eine Anzahl der Verdampferrohre der Brennkammer weist vorteilhafterweise Mittel zum Reduzieren des Durchflusses des Strömungsmediums auf. Dabei erweist es sich als besonders günstig, wenn die Mittel als Drosseleinrichtungen aus-

gebildet sind. Drossleinrichtungen können beispielsweise Einbauten in die Verdampferrohre sein, die an einer Stelle im Inneren des jeweiligen Verdampferrohres den Rohrinne Durchmesser verkleinern.

Dabei erweisen sich auch Mittel zum Reduzieren des Durchflusses in einem mehrere parallele Leitungen umfassenden Leitungssystem als vorteilhaft, durch das den Verdampferrohren der Brennkammer Strömungsmedium zuführbar ist. Dabei kann das Leitungssystem auch einem Eintrittssammler-System von parallel mit Strömungsmedium beaufschlagbaren Verdampferrohren vorgeschaltet sein. In einer Leitung oder in mehreren Leitungen des Leitungssystems können dabei beispielsweise Drosselarmaturen vorgesehen sein. Mit solchen Mitteln zum Reduzieren des Durchflusses des Strömungsmediums durch die Verdampferrohre läßt sich eine Anpassung des Durchsatzes des Strömungsmediums durch einzelne Verdampferrohre an deren jeweilige Beheizung in der Brennkammer herbeiführen. Dadurch sind zusätzlich Temperaturunterschiede des Strömungsmediums am Austritt der Verdampferrohre besonders zuverlässig besonders gering gehalten.

Die Seitenwände des Horizontalgaszugs und/oder des Vertikalgaszugs sind vorteilhafterweise aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Dampferzeugerrohren gebildet, von denen jeweils eine Anzahl parallel mit Strömungsmedium beaufschlagbar ist.

Benachbarte Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre sind vorteilhafterweise über Metallbänder, sogenannte Flossen, gasdicht miteinander verschweißt. Die Flossenbreite beeinflusst den Wärmeeintrag in die Dampferzeugerrohre. Daher ist die Flossenbreite vorzugsweise abhängig von der Position der jeweiligen Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre im Dampferzeuger an ein gasseitig vorgebbares Beheizungs- und/oder Temperaturprofil angepaßt. Als Beheizungs- und/oder Temperaturprofil kann dabei ein aus Erfahrungswerten ermitteltes typisches Beheizungs- und/oder Temperaturprofil oder auch eine grobe Abschätzung, wie beispielsweise ein stufenförmiges Beheizungs- und/oder Temperaturprofil, vorgegeben sein. Durch die geeignet gewählten Flossenbreiten ist auch bei stark unterschiedlicher Beheizung verschiedener Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre ein Wärmeeintrag in alle Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre derart erreichbar, daß Temperaturunterschiede am Auslaß der Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre besonders gering gehalten sind. Auf diese Weise sind vorzeitige Materialermüdungen zuverlässig verhindert. Dadurch weist der Dampferzeuger eine besonders lange Lebensdauer auf.

In dem Horizontalgaszug sind vorteilhafterweise eine Anzahl von Überhitzerheizflächen angeordnet, deren Rohre annähernd quer zur Hauptströmungsrichtung des Heizgases angeordnet und für eine Durchströmung des Strömungsmediums parallel geschaltet sind. Diese in hängender Bauweise angeordneten, auch als Schottheizflächen bezeichneten, Überhitzerheizflächen werden überwiegend konvektiv beheizt und sind strömungsmediumsseitig den Verdampferrohren der Brennkammer nachgeschaltet. Hierdurch ist eine besonders günstige Ausnutzung der Heizgaswärme gewährleistet.

Vorteilhafterweise weist der Vertikalgaszug eine Anzahl von Konvektionsheizflächen auf, die aus annähernd quer zur Hauptströmungsrichtung des Heizgases angeordneten Rohren gebildet sind. Die Rohre einer Konvektionsheizfläche sind dabei für eine Durchströmung des Strömungsmediums parallel geschaltet. Auch diese Konvektionsheizflächen werden überwiegend konvektiv beheizt.

Um weiterhin eine besonders vollständige Ausnutzung der Wärme des Heizgases zu gewährleisten, weist der Vertikalgaszug vorteilhafterweise einen Economizer auf.

Vorteilhafterweise sind die Brenner an der Stirnwand der Brennkammer angeordnet, also an derjenigen Umfassungswand der Brennkammer, die der Abströmöffnung zum Horizontalgaszug gegenüberliegt. Ein derartig ausgebildeter Dampferzeuger ist auf besonders einfache Weise an die Ausbrandlänge des Brennstoffs anpaßbar. Unter Ausbrandlänge des fossilen Brennstoffs ist dabei die Heizgasgeschwindigkeit in horizontaler Richtung bei einer bestimmten mittleren Heizgastemperatur multipliziert mit der Ausbrandzeit t_A des fossilen Brennstoffs zu verstehen. Die für den jeweiligen Dampferzeuger maximale Ausbrandlänge ergibt sich dabei bei der Dampfleistung des Dampferzeugers bei Vollast, dem sogenannten Vollastbetrieb des Dampferzeugers. Die Ausbrandzeit t_A wiederum ist die Zeit, die beispielsweise ein Kohlenstaubkorn benötigt, um bei einer bestimmten mittleren Heizgastemperatur vollständig auszubrennen.

Um Materialschäden und eine unerwünschte Verschmutzung des Horizontalgaszuges, beispielsweise aufgrund des Eintrags von schmelzflüssiger Asche einer hohen Temperatur, besonders gering zu halten, ist die durch den Abstand von der Stirnwand zum Eintrittsbereich des Horizontalgaszuges definierte Länge L der Brennkammer vorteilhafterweise mindestens gleich der Ausbrandlänge des Brennstoffs beim Vollastbetrieb des Dampferzeugers. Diese Länge L der Brennkammer wird im allgemeinen größer als die Höhe der Brennkammer, gemessen von der Trichteroberkante bis zur Brennkammerdecke, betragen.

Die Länge L (angegeben in m) der Brennkammer ist zur besonders günstigen Ausnutzung der Verbrennungswärme des fossilen Brennstoffs in einer vorteilhaften Ausgestaltung als Funktion des BMCR-Wertes W (angegeben in kg/s) des Dampferzeugers, der Ausbrandzeit t_A (angegeben in s) des Brennstoffs und der Austrittstemperatur T_{BRK} (angegeben in °C) des Heizgases aus der Brennkammer gewählt. BMCR steht für Boiler maximum continuous rating und ist der international üblicherweise verwendete Begriff für die höchste Dauerleistung eines Dampferzeugers. Diese entspricht auch der Auslegungsleistung, also der Leistung bei Vollastbetrieb des Dampferzeugers. Dabei gilt bei gegebenem BMCR-Wert W des Dampferzeugers für die Länge L der Brennkammer näherungsweise der größere Wert der beiden Funktionen (I) und (II)

$$I. (W, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot W) \cdot t_A \quad (I)$$

und

$$L(W, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4)W + C_5(T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (II)$$

mit

$$C_1 = 8 \text{ m/s und}$$

$$C_2 = 0,0057 \text{ m/kg und}$$

$C_3 = -1,905 \cdot 10^{-4} \text{ (m} \cdot \text{s)/(kg}^\circ\text{C) und}$
 $C_4 = 0,286 \text{ (s} \cdot \text{m)/kg und}$
 $C_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/(}^\circ\text{C)}^2 \text{ und}$
 $C_6 = -0,842 \text{ m}^\circ\text{C und}$
 $C_7 = 603,41 \text{ m.}$

Unter "näherungsweise" ist hierbei eine zulässige Abweichung vom durch die jeweilige Funktion definierten Wert um +20%/ -10% zu verstehen.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch die horizontale Brennkammer und den für eine annähernd vertikale Strömungsrichtung des Heizgases von unten nach oben ausgelegten Vertikalgaszug der Dampferzeuger einen besonders geringen Platzbedarf aufweist. Diese besonders kompakte Bauweise des Dampferzeugers ermöglicht bei Einbindung des Dampferzeugers in eine Dampfturbinenanlage besonders kurze Verbindungsrohre von dem Dampferzeuger zu der Dampfturbine.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Fig. 1 schematisch einen fossil beheizten Dampferzeuger in Zweizugbauart in Seitenansicht und

Fig. 2 schematisch einen Längsschnitt durch ein einzelnes Verdampferrohr und

Fig. 3 ein Koordinatensystem mit den Kurven K_1 bis K_6 .

Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Der Dampferzeuger 2 gemäß Fig. 1 ist einer nicht näher dargestellten Kraftwerksanlage zugeordnet, die auch eine Dampfturbinenanlage umfaßt. Der im Dampferzeuger 2 erzeugte Dampf wird dabei zum Antrieb der Dampfturbine genutzt, die ihrerseits wiederum einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Der durch den Generator erzeugte Strom ist dabei zur Einspeisung in ein Verbund- oder ein Inselnetz vorgesehen. Weiterhin kann auch eine Abzweigung einer Teilmenge des Dampfes zur Einspeisung in einen an die Dampfturbinenanlage angeschlossenen externen Prozeß vorgesehen sein, bei dem es sich auch um einen Heizprozeß handeln kann.

Der fossil beheizte Dampferzeuger 2 ist vorteilhafterweise als Durchlaufdampferzeuger ausgeführt. Er umfaßt eine in horizontaler Bauweise ausgeführte Brennkammer 4, der heizgasseitig über einen Horizontalgaszug 6 ein Vertikalgaszug 8 nachgeschaltet ist. Der untere Bereich der Brennkammer 4 ist durch einen Trichter 5 mit einer Oberkante entsprechend der Hilfslinie mit den Endpunkten X und Y gebildet. Durch den Trichter 5 kann beim Betrieb des Dampferzeugers 2 Asche des fossilen Brennstoffs B in eine darunter angeordnete Entschungseinrichtung 7 abgeführt werden. Die Umfassungswände 9 der Brennkammer 4 sind aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Verdampferrohren 10 gebildet. Dabei ist eine Umfassungswand 9 die Stirnwand 9A und zwei Umfassungswände 9 sind die Seitenwände 9B der Brennkammer 4 des Dampferzeugers 2. In der in Fig. 1 gezeigten Seitenansicht des Dampferzeugers 2 ist nur eine der beiden Seitenwände 9B sichtbar. Die Verdampferrohre 10 der Seitenwände 9B der Brennkammer 4 sind in eine erste Gruppe 11A und in eine zweite Gruppe 11B unterteilt. Die Verdampferrohre 10 der Stirnwand 9A und die erste Gruppe 11A der Verdampferrohre 10 sind parallel mit Strömungsmedium S beaufschlagbar. Auch die zweite Gruppe 11B der Verdampferrohre 10 ist parallel mit Strömungsmedium S beaufschlagbar. Um eine besonders günstige Durchflußcharakteristik des Strömungsmediums S durch die Umfassungswände 9 der Brennkammer 4 und damit eine besonders gute Ausnutzung der Verbrennungswärme des fossilen Brennstoffs B zu erreichen, sind die Verdampferrohre 10 der Stirnwand 9A und der ersten Gruppe 11A strömungsmediumsseitig den Verdampferrohren 10 der zweiten Gruppe 11B vorgeschaltet.

Auch die Seitenwände 12 des Horizontalgaszuges 6 und/oder die Seitenwände 14 des Vertikalgaszuges 8 sind aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Dampferzeugerrohren 16 bzw. 17 gebildet. Von den Dampferzeugerrohren 16, 17 ist dabei jeweils eine Anzahl parallel mit Strömungsmedium S beaufschlagbar.

Der Stirnseite 9A und der ersten Gruppe 11A der Verdampferrohre 10 der Brennkammer 4 ist strömungsmediumsseitig ein gemeinsames Eintrittssammler-System 18A für Strömungsmedium S vorgeschaltet und ein Austrittssammler-System 20A nachgeschaltet. Ebenso ist der zweiten Gruppe 11B der Seitenwände 9B der Verdampferrohre 10 strömungsmediumsseitig ein gemeinsames Eintrittssammler-System 18B für Strömungsmedium S vorgeschaltet und ein Austrittssammler-System 20B nachgeschaltet. Die Eintrittssammler-Systeme 18A und 18B umfassen dabei jeweils eine Anzahl von parallelen Eintrittssammlern.

Zum Zuführen von Strömungsmedium S in das Eintrittssammler-System 18A der der Stirnseite 9A der Brennkammer 4 und der ersten Gruppe 11A der Verdampferrohre 10 der Seitenwände 9B der Brennkammer 4 ist ein Leitungssystem 19A vorgesehen. Das Leitungssystem 19A umfaßt mehrere parallel geschaltete Leitungen, die jeweils mit einem der Eintrittssammler des Eintrittssammler-Systems 18A verbunden sind. Das Austrittssammler-System 20A ist ausgangsseitig an ein Leitungssystem 19B angeschlossen, das zum Zuführen von Strömungsmedium S in die Eintrittssammler des Eintrittssammler-Systems 18B der zweiten Gruppe 11B der Verdampferrohre 10 der Seitenwände 9B der Brennkammer 4 vorgesehen ist.

In gleicher Weise ist den parallel mit Strömungsmedium S beaufschlagbaren Dampferzeugerrohren 16 der Seitenwände 12 des Horizontalgaszuges 6 ein gemeinsames Eintrittssammler-System 21 vorgeschaltet und ein gemeinsames Austrittssammler-System 22 nachgeschaltet. Dabei ist zum Zuführen von Strömungsmedium S in das Eintrittssammler-System 21 der Dampferzeugerrohren 16 ein Leitungssystem 25 vorgesehen. Das Leitungssystem 25 umfaßt auch hier mehrere parallel geschaltete Leitungen, die jeweils mit einem der Eintrittssammler des Eintrittssammler-Systems 21 verbunden sind. Eingangsseitig ist das Leitungssystem 25 an das Austrittssammler-System 20B der zweiten Gruppe 11B der Verdampferrohre 10 der Seitenwände 9A der Brennkammer 4 angeschlossen. Das die Brennkammer 4 verlassende erhitzte Strömungsmedium S wird also in die Seitenwände 12 des Horizontalgaszuges 6 geführt.

Durch diese Ausgestaltung des Durchlaufdampferzeugers 2 mit Eintrittssammler-Systemen 18A, 18B, sowie 21 und Austrittssammler-Systemen 20A, 20B und 22 ist ein besonders zuverlässiger Druckausgleich zwischen den parallel geschalteten Verdampferrohren 10 der Brennkammer 4 bzw. den parallel geschalteten Dampferzeugerrohren 16 des Horizontalgaszuges 6 in der Weise möglich, daß jeweils alle parallel geschalteten Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre 10 bzw. 16 den gleichen Gesamtdruckverlust aufweisen. Dies bedeutet, daß bei einem mehr beheizten Verdampferrohr 10

bzw. Dampferzeugerrohr 16 im Vergleich zu einem minderbeheizten Verdampferrohr 10 bzw. Dampferzeugerrohr 16 der Durchsatz steigen muß.

Die Verdampferrohre 10 weisen – wie in Fig. 2 dargestellt – auf ihrer Innenseite Rippen 40 auf, die eine Art mehrgängiges Gewinde bilden und eine Rippenhöhe R haben. Dabei ist der Steigungswinkel α zwischen einer zur Rohrachse senkrechten Ebene 42 und den Flanken 44 der auf der Rohrinneinnenseite angeordneten Rippen 40 kleiner als 55° . Dadurch werden ein besonders hoher Wärmeübergang von der Innenwand der Verdampferrohre an das in den Verdampferrohren 10 geführte Strömungsmedium S bei gleichzeitig besonders niedrigen Temperaturen der Rohrwand erreicht.

Der Rohrinneinnendurchmesser D der Verdampferrohre 10 der Brennkammer 4 ist abhängig von der jeweiligen Position der Verdampferrohre 10 in der Brennkammer 4 gewählt. Auf diese Weise ist der Dampferzeuger 2 an die unterschiedlich starke Beheizung der Verdampferrohre 10 angepaßt. Diese Auslegung der Verdampferrohre 10 der Brennkammer 4 gewährleistet besonders zuverlässig, daß Temperaturunterschiede am Auslaß der Verdampferrohre 10 besonders gering gehalten sind.

Benachbarte Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre 10, 16, 17 sind in nicht näher dargestellter Weise über Flossen gasdicht miteinander verschweißt. Durch eine geeignete Wahl der Flossenbreite kann nämlich die Beheizung der Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre 10, 16, 17 beeinflusst werden. Daher ist die jeweilige Flossenbreite an ein gasseitig vorgebbares Beheizungsprofil angepaßt, das von der Position der jeweiligen Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre 10, 16, 17 im Dampferzeuger abhängt. Das Beheizungsprofil kann dabei ein aus Erfahrungswerten ermitteltes typisches Beheizungsprofil oder auch eine grobe Abschätzung sein. Dadurch sind Temperaturunterschiede am Auslaß der Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre 10, 16, 17 auch bei stark unterschiedlicher Beheizung der Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre 10, 16, 17 besonders gering gehalten. Auf diese Weise sind Materialermüdungen zuverlässig verhindert, was eine lange Lebensdauer des Dampferzeugers 2 gewährleistet.

Als Mittel zum Reduzieren des Durchflusses des Strömungsmediums S sind ein Teil der Verdampferrohre 10 mit Drosseleinrichtungen ausgestattet, die in der Zeichnung nicht näher dargestellt sind. Die Drosseleinrichtungen sind als den Rohrinneinnendurchmesser D verkleinernde Lochblenden ausgeführt und bewirken beim Betrieb des Dampferzeugers 2 eine Reduzierung des Durchsatzes des Strömungsmediums S in minderbeheizten Verdampferrohren 10, wodurch der Durchsatz des Strömungsmediums S der Beheizung angepaßt wird. Weiterhin sind als Mittel zum Reduzieren des Durchsatzes des Strömungsmediums S in der den Verdampferrohren 10 der Brennkammer 4 eine oder mehrere Leitungen des Leitungssystems 19 bzw. 25 mit Drosseleinrichtungen, insbesondere Drosselarmaturen, ausgestattet, was in der Zeichnung nicht näher dargestellt ist.

Bei der Berohrung der Brennkammer 4 ist zu berücksichtigen, daß die Beheizung der einzelnen, miteinander gasdicht verschweißten Verdampferrohre 10 beim Betrieb des Dampferzeugers 2 sehr unterschiedlich ist. Deswegen wird die Auslegung der Verdampferrohre 10 hinsichtlich ihrer Innenberippung, Flossenverbindung zu benachbarten Verdampferrohren 10 und ihres Rohrinneinnendurchmessers D so gewählt, daß alle Verdampferrohre 10 trotz unterschiedlicher Beheizung annähernd gleiche Austrittstemperaturen des Strömungsmediums S aufweisen und eine ausreichende Kühlung aller Verdampferrohre 10 für alle Betriebszustände des Dampferzeugers 2 gewährleistet ist.

Diese Eigenschaften des Dampferzeugers sind insbesondere dann gewährleistet, wenn der Dampferzeuger 2 für eine vergleichsweise niedrige Massenstromdichte des die Verdampferrohre 10 durchströmenden Strömungsmediums S ausgelegt ist. Durch eine geeignete Wahl der Flossenverbindungen und der Rohrinneinnendurchmesser D ist zudem erreicht, daß der Anteil des Reibungsdruckverlusts am Gesamtdruckverlust so gering ist, daß sich ein Naturumlaufverhalten einstellt: Stärker beheizte Verdampferrohre 10 werden stärker durchströmt als schwächer beheizte Verdampferrohre 10. Damit wird auch erreicht, daß die vergleichsweise stark beheizten Verdampferrohre 10 in Brennernähe spezifisch – bezogen auf den Massenstrom – annähernd ebensoviel Wärme aufnehmen wie die vergleichsweise schwach beheizten Verdampferrohre 10, die im Vergleich dazu näher am Brennkammerende angeordnet sind. Eine weitere Maßnahme, die Durchströmung der Verdampferrohre 10 der Brennkammer 4 an die Beheizung anzupassen, ist der Einbau von Drosseln in einen Teil der Verdampferrohre 10 oder in einen Teil der Leitungen des Leitungssystems 19. Die Innenberippung ist dabei derart ausgelegt, daß eine ausreichende Kühlung der Verdampferrohrwände sichergestellt ist. Somit weisen mit den oben genannten Maßnahmen alle Verdampferrohre 10 annähernd gleiche Austrittstemperaturen des Strömungsmediums S auf.

Der Horizontalgaszug 6 weist eine Anzahl von als Schottheizflächen ausgebildeten Überhitzerheizflächen 23 auf, die in hängender Bauweise annähernd senkrecht zur Hauptströmungsrichtung 24 des Heizgases G angeordnet und deren Rohre für eine Durchströmung des Strömungsmediums S jeweils parallel geschaltet sind. Die Überhitzerheizflächen 23 werden überwiegend konvektiv beheizt und sind strömungsmediumsseitig den Verdampferrohren 10 der Brennkammer 4 nachgeschaltet.

Der von unten nach oben von Heizgas G durchströmbare Vertikalgaszug 8 weist eine Anzahl von überwiegend konvektiv beheizbaren Konvektionsheizflächen 26 auf, die aus annähernd senkrecht zur Hauptströmungsrichtung 24 des Heizgases G angeordneten Rohren gebildet sind. Diese Rohre sind für eine Durchströmung des Strömungsmediums S jeweils parallel geschaltet und in den Weg des Strömungsmediums S integriert, was in der Zeichnung nicht näher dargestellt ist. Außerdem ist in dem Vertikalgaszug 8 oberhalb der Konvektionsheizflächen 26 ein Economizer 28 angeordnet. Der Economizer 28 ist ausgangsseitig über ein Leitungssystem 19 an das den Verdampferrohren 10 zugeordnete Eintrittssammler-System 18 angeschlossen. Dabei können eine oder mehrere in der Zeichnung nicht näher dargestellte Leitungen des Leitungssystems 54 Drosselarmaturen zur Reduzierung des Durchflusses des Strömungsmediums S aufweisen.

Ausgangsseitig nach dem von unten nach oben in annähernd vertikaler Hauptströmungsrichtung 24 mit Heizgas G durchströmbar Vertikalgaszug 8 schließt sich ein kurzer Verbindungskanal 50 an. Der Verbindungskanal 50 verbindet den Vertikalgaszug 8 mit einem Gehäuse 52. In dem Gehäuse 52 ist eingangsseitig eine Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G angeordnet. Die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G ist über eine Zuführung 56 mit einem Luftvorwärmer 60 verbunden. Der Luftvorwärmer 60 wiederum ist über einen Rauchgaskanal 62 mit einem Elektronikfilter 62 verbunden.

Die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G wird nach dem Verfahren der Selektiven Katalytischen Reduktion, dem

sogenannten SCR-Verfahren, betrieben. Bei der katalytischen Reinigung des Heizgases G des Dampferzeugers 2 gemäß dem SCR-Verfahren werden Stickoxide (NO_x) mit Hilfe eines Katalysators und eines Reduktionsmittels, beispielsweise Ammoniak, zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) reduziert.

Zur Durchführung des SCR-Verfahrens umfaßt die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G einen als DeNO_x -Katalysator 64 ausgebildeten Katalysator. Der DeNO_x -Katalysator ist im Strömungsbereich des Heizgases G angeordnet. Zur Einbringung von Ammoniak-Wasser als Reduktionsmittel M in das Heizgas G weist die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G ein Dosiersystem 66 auf. Dabei umfaßt das Dosiersystem 66 einen Vorratsbehälter 68 für Ammoniak-Wasser und ein Druckluftsystem 69. Das Dosiersystem 66 ist oberhalb des DeNO_x -Katalysators 64 in der Entstickungseinrichtung 54 angeordnet.

Der Dampferzeuger 2 ist mit einer horizontalen Brennkammer 4 mit besonders niedriger Bauhöhe ausgeführt und somit mit besonders geringem Herstellungs- und Montageaufwand errichtbar. Hierzu weist die Brennkammer 4 des Dampferzeugers 2 eine Anzahl von Brennern 70 für fossilen Brennstoff B auf, die an der Stirnwand 11 der Brennkammer 4 in der Höhe des Horizontalgaszuges 6 angeordnet sind.

Damit der fossile Brennstoff B, beispielsweise Kohle in fester Form, zur Erzielung eines besonders hohen Wirkungsgrads besonders vollständig ausbrennt und Materialschäden der heizgasseitig gesehen ersten Überhitzerheizfläche 23 des Horizontalgaszuges 6 und eine Verschmutzung derselben, beispielsweise durch Eintrag von schmelzflüssiger Asche mit hoher Temperatur, besonders zuverlässig verhindert sind, ist die Länge L der Brennkammer 4 derart gewählt, daß sie die Ausbrandlänge des Brennstoffs B beim Vollastbetrieb des Dampferzeugers 2 übersteigt. Die Länge L ist dabei der Abstand von der Stirnwand 9A der Brennkammer 4 zum Eintrittsbereich 72 des Horizontalgaszuges 6. Die Ausbrandlänge des Brennstoffs B ist dabei definiert als die Heizgasgeschwindigkeit in horizontaler Richtung bei einer bestimmten mittleren Heizgastemperatur multipliziert mit der Ausbrandzeit t_A des fossilen Brennstoffs B. Die für den jeweiligen Dampferzeuger 2 maximale Ausbrandlänge ergibt sich beim Vollastbetrieb des Dampferzeugers 2. Die Ausbrandzeit t_A des Brennstoffs B wiederum ist die Zeit, die beispielsweise ein Kohlenstaubkorn mittlerer Größe zum vollständigen Ausbrennen bei einer bestimmten mittleren Heizgastemperatur benötigt.

Um eine besonders günstige Ausnutzung der Verbrennungswärme des fossilen Brennstoffs B zu gewährleisten, ist die Länge L (angegeben in m) der Brennkammer 4 in Abhängigkeit von der Austrittstemperatur des Heizgases G aus der Brennkammer 4 T_{BRK} (angegeben in $^{\circ}\text{C}$), der Ausbrandzeit t_A (angegeben in s) des Brennstoffs B und dem BMCR-Wert W (angegeben in kg/s) des Dampferzeugers 2 geeignet gewählt. Dabei steht BMCR für Boiler maximum continuous rating. Der BMCR-Wert W ist ein international üblicherweise verwendeter Begriff für die höchste Dauerleistung eines Dampferzeugers. Diese entspricht auch der Auslegungsleistung, also der Leistung bei Vollastbetrieb des Dampferzeugers. Diese horizontale Länge L der Brennkammer 4 ist dabei größer als die Höhe H der Brennkammer 4. Die Höhe H wird dabei von der Trichteroberkante der Brennkammer 4, in Fig. 1 durch die Hilfslinie mit den Endpunkten X und Y markiert, bis zu Brennkammerdecke gemessen. Dabei bestimmt sich die Länge L der Brennkammer 4 näherungsweise über die beiden Funktionen (I) und (II)

$$L(W, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot W) \cdot t_A \quad (\text{I})$$

$$L(W, T_{\text{BRK}}) = (C_3 \cdot T_{\text{BRK}} + C_4)W + C_5(T_{\text{BRK}})^2 + C_6 \cdot T_{\text{BRK}} + C_7 \quad (\text{II})$$

mit

$$C_1 = 8 \text{ m/s und}$$

$$C_2 = 0,0057 \text{ m/kg und}$$

$$C_3 = 1,905 \cdot 10^{-4} \text{ (m} \cdot \text{s)/(kg}^{\circ}\text{C)} \text{ und}$$

$$C_4 = 0,286 \text{ (s} \cdot \text{m)/kg und}$$

$$C_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/(}^{\circ}\text{C)}^2 \text{ und}$$

$$C_6 = -0,842 \text{ m}^{\circ}\text{C und}$$

$$C_7 = 603,41 \text{ m.}$$

Näherungsweise ist hierbei als eine zulässige Abweichung um +20%/−10% vom durch die jeweilige Funktion definierten Wert zu verstehen. Dabei gilt stets bei einem beliebig aber festen BMCR-Wert W des Dampferzeugers der größere Wert aus den Funktionen (I) und (II) für die Länge L der Brennkammer 4.

Als Beispiel für eine Berechnung der Länge L der Brennkammer 4 in Abhängigkeit vom BMCR-Wert W des Dampferzeugers 2 sind in das Koordinatensystem gemäß Fig. 3 sechs Kurven K_1 bis K_6 eingezeichnet. Dabei sind den Kurven jeweils folgende Parameter zugeordnet:

$$K_1: t_A = 3 \text{ s gemäß (1),}$$

$$K_2: t_A = 2,5 \text{ s gemäß (1),}$$

$$K_3: t_A = 2 \text{ s gemäß (1),}$$

$$K_4: T_{\text{BRK}} = 1200^{\circ}\text{C gemäß (2),}$$

$$K_5: T_{\text{BRK}} = 1300^{\circ}\text{C gemäß (2) und}$$

$$K_6: T_{\text{BRK}} = 1400^{\circ}\text{C gemäß (2).}$$

Zur Bestimmung der Länge L der Brennkammer 4 sind somit beispielsweise für eine Ausbrandzeit $t_A = 3 \text{ s}$ und eine Austrittstemperatur $T_{\text{BRK}} = 1200^{\circ}\text{C}$ des Heizgases G aus der Brennkammer 4 die Kurven K_1 und K_4 heranzuziehen. Daraus ergibt sich bei einem vorgegebenen BMCR-Wert W des Dampferzeugers 2

von $W = 80 \text{ kg/s}$ eine Länge von $L = 29 \text{ m}$ gemäß K_4 ,

von $W = 160 \text{ kg/s}$ eine Länge von $L = 34 \text{ m}$ gemäß K_4 ,

von $W = 560 \text{ kg/s}$ eine Länge von $L = 57 \text{ m}$ gemäß K_4 .

Für die Ausbrandzeit $t_A = 2,5$ s und die Austrittstemperatur des Heizgases G aus der Brennkammer $T_{BRK} = 1300^\circ\text{C}$ sind beispielsweise die Kurven K_2 und K_5 heranzuziehen. Daraus ergibt sich bei einem vorgegebenen BMCR-Wert W des Dampferzeugers 2

- von $W = 80$ kg/s eine Länge von $L = 21$ m gemäß K_2 ,
- von $W = 180$ kg/s eine Länge von $L = 23$ m gemäß K_2 und K_5 ,
- von $W = 560$ kg/s eine Länge von $L = 37$ m gemäß K_5 .

Der Ausbrandzeit t_A 25 und der Austrittstemperatur des Heizgases G aus der Brennkammer $T_{BRK} = 1400^\circ\text{C}$ sind beispielsweise die Kurven K_3 und K_6 zugeordnet. Daraus ergibt sich bei einem vorgegebenen BMCR-Wert W des Dampferzeugers 2

- von $W = 80$ kg/s eine Länge von $L = 18$ m gemäß K_3 ,
- von $W = 465$ kg/s eine Länge von $L = 21$ m gemäß K_3 und K_6 ,
- von $W = 560$ kg/s eine Länge von $L = 23$ m gemäß K_6 .

Beim Betrieb des Dampferzeugers 2 wird den Brennern 70 fossiler Brennstoff B und Luft zugeführt. Die Luft wird dabei im Luftvorwärmer mit der Restwärme des Heizgases G vorgewärmt, und dann, was in der Zeichnung nicht näher dargestellt ist, verdichtet und den Brennern 70 zugeführt. Die Flammen F der Brenner 70 sind dabei horizontal ausgerichtet. Durch die Bauweise der Brennkammer 4 wird eine Strömung des bei der Verbrennung entstehenden Heizgases G in annähernd horizontaler Hauptströmungsrichtung 24 erzeugt.

Das Heizgas G gelangt über den Horizontalgaszug 6 in den von unten nach oben mit Heizgas G durchströmbar Vertikalgaszug 8. Ausgangsseitig nach dem Vertikalgaszug 8 gelangt das Heizgas G über den Verbindungskanal 50 in die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G. Über die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G wird in Abhängigkeit von der Brennstoffart des den Dampferzeuger 2 betreibenden Brennstoffs B eine bestimmte Menge von Ammoniak-Wasser als Reduktionsmittel M mit Hilfe von Druckluft in das Heizgas G eingedüst. Dies ist erforderlich, da der Abscheidungsgrad der Stickoxide (NO_x) von der Brennstoffart des den Dampferzeuger 2 betreibenden fossilen Brennstoffs B abhängt. Auf diese Weise ist eine besonders zuverlässige Entstickung des Heizgases G bei allen Betriebszuständen des Dampferzeugers 2 gewährleistet.

Das gereinigte Heizgas G1 verläßt die Entstickungseinrichtung 54 für Heizgas G über eine Zuführung 56, die in den Luftvorwärmer 58 mündet. Im Luftvorwärmer 58 erfolgt eine Vorwärmung der den Brennern 70 für die Verbrennung des fossilen Brennstoffs B zuzuführenden Luft. Das Heizgas G verläßt den Luftvorwärmer 58 über den Rauchgaskanal 60 und gelangt über den Elektronikfilter 62 in die Umwelt.

In den Economizer 28 eintretendes Strömungsmedium S gelangt über das Leitungssystem 19A in das Eintrittssammler-System 18A, das der Stirnwand 9A und den Verdampferrohren 10 der ersten Gruppe 11A der Seitenwände 9B der Brennkammer 4 des Dampferzeugers 2 zugeordnet ist. Der in den vertikal angeordneten, gasdicht miteinander verschweißten Verdampferrohren 10 der Brennkammer 4 des Dampferzeugers 2 entstehende Dampf bzw. ein Wasser-Dampf-Gemisch wird in dem Austrittssammler-System 20A für Strömungsmedium S gesammelt. Von dort gelangt der Dampf bzw. das Wasser-Dampf-Gemisch über das Leitungssystem 19B in das Eintrittssammler-System 18B, das der zweiten Gruppe 11B der Verdampferrohre 10 der Seitenwände 9B der Brennkammer 4 zugeordnet ist. Der in den vertikal angeordneten, gasdicht miteinander verschweißten Verdampferrohren 10 der Brennkammer 4 des Dampferzeugers 2 entstehende Dampf bzw. ein Wasser-Dampf-Gemisch wird in dem Austrittssammler-System 20B für Strömungsmedium S gesammelt. Von dort gelangt der Dampf bzw. das Wasser-Dampf-Gemisch über das Leitungssystem 25 in das den Dampferzeugerrohren 16 der Seitenwände 12 des Horizontalgaszugs zugeordnete Eintrittssammler-System 21. Der in den Verdampferrohren 16 entstehende Dampf bzw. das Wasser-Dampf-Gemisch gelangt über das Austrittssammler-System 22 in die Wände des Vertikalgaszuges 8 und von dort wiederum in die Überhitzerheizflächen 23 des Horizontalgaszuges 6. In den Überhitzerheizflächen 23 erfolgt eine weitere Überhitzung des Dampfs, der anschließend einer Nutzung, beispielsweise dem Antrieb einer Dampfturbine, zugeführt wird.

Bei dem Dampferzeuger 2 ist durch die Wahl der Länge L der Brennkammer 4 in Abhängigkeit vom BMCR-Wert W des Dampferzeugers 2 sichergestellt, daß die Verbrennungswärme des fossilen Brennstoffs B besonders zuverlässig ausgenutzt wird. Außerdem weist der Dampferzeuger 2 durch seine horizontale Brennkammer 4 und seine dem Vertikalgaszug 8 unmittelbar nachgeschaltete Entstickungseinrichtung 54 einen besonders geringen Platzbedarf auf. Hierbei ist in besonders einfacher Weise bei allen Betriebszuständen des Dampferzeugers 2 eine besonders zuverlässige Entstickung des Heizgases G gewährleistet.

Patentansprüche

1. Dampferzeuger (2) mit einer Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) und mit einer Brennkammer (4) für fossilen Brennstoff (B), der heizgasseitig über einen Horizontalgaszug (6) und einen Vertikalgaszug (8) die Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) nachgeschaltet ist, wobei die Brennkammer (4) eine Anzahl von in der Höhe des Horizontalgaszugs (6) angeordneten Brennern (70) umfaßt und wobei der Vertikalgaszug (8) für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases (G) von unten nach oben und die Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) für eine annähernd vertikale Strömung des Heizgases (G) von oben nach unten ausgelegt ist.
2. Dampferzeuger (2) nach Anspruch 1, mit einem Luftvorwärmer (58), bei dem das die Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) verlassende gereinigte Heizgas (G1) zur Erwärmung von Luft einsetzbar ist.
3. Dampferzeuger (2) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Entstickungseinrichtung (54) für Heizgas (G) einen De- NO_x -Katalysator (64) umfaßt.

4. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Umfassungswände (9) der Brennkammer (4) aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Verdampferrohren (10) gebildet sind, wobei jeweils eine Anzahl der Verdampferrohre (10) parallel mit Strömungsmedium (S) beaufschlagbar ist.
5. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem eine Umfassungswand (9) der Brennkammer (4) die Stirnwand (9A) ist und zwei Umfassungswände (9) die Seitenwände (9B) der Brennkammer (4) sind, wobei die Seitenwände (9B) jeweils in eine erste Gruppe (11A) und in eine zweite Gruppe (11B) von Verdampferrohren (10) unterteilt sind, wobei die Stirnwand (9A) und die erste Gruppe (11A) der Verdampferrohre (10) parallel mit Strömungsmedium (S) beaufschlagbar und der parallel mit Strömungsmedium (S) beaufschlagbaren zweiten Gruppe (11B) der Verdampferrohre (10) strömungsmediumsseitig vorgeschaltet sind.
6. Dampferzeuger (2) nach einem Anspruch 4 oder 5, bei dem jeweils den parallel mit Strömungsmedium (S) beaufschlagbaren Verdampferrohren (10) strömungsmediumsseitig ein gemeinsames Eintrittssammler-System (18A, 18B) vorgeschaltet und ein gemeinsames Austrittssammler-System (20A, 20B) nachgeschaltet ist.
7. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem der Rohrrinnendurchmesser (D) einer Anzahl der Verdampferrohre (10) der Brennkammer (4) abhängig von der jeweiligen Position der Verdampferrohre (10) in der Brennkammer (4) gewählt ist.
8. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem eine Anzahl der Verdampferrohre (10) auf, ihrer Innenseite jeweils ein mehrgängiges Gewinde bildende Rippen (40) tragen.
9. Dampferzeuger (2) nach Anspruch 8, bei dem ein Steigungswinkel (α) zwischen einer zur Rohrachse senkrechten Ebene (42) und den Flanken (44) der auf der Rohrrinnenseite angeordneten Rippen (40) kleiner als 60° , vorzugsweise kleiner als 55° , ist.
10. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem eine Anzahl der Verdampferrohre (10) jeweils eine Drosseleinrichtung aufweist.
11. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem ein Leitungssystem (19A, 19B) zur Zuführung von Strömungsmedium (S) in die Verdampferrohre (10) der Brennkammer (4) vorgesehen ist, wobei das Leitungssystem (19A, 19B) zur Reduzierung der Durchflußmenge des Strömungsmediums (S) eine Anzahl von Drosselrichtungen, insbesondere Drosselarmaturen, aufweist.
12. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Seitenwände (12) des Horizontalgaszugs (6) aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Dampferzeugerrohren (16) gebildet sind, von denen jeweils eine Anzahl parallel mit Strömungsmedium (S) beaufschlagbar ist.
13. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem die Seitenwände (14) des Vertikalgaszugs (8) aus gasdicht miteinander verschweißten, vertikal angeordneten Dampferzeugerrohren (17) gebildet sind, von denen jeweils eine Anzahl parallel mit Strömungsmedium (S) beaufschlagbar ist.
14. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem benachbarte Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre (10, 16, 17) über Flossen gasdicht miteinander verschweißt sind, wobei die Flossenbreite abhängig von der jeweiligen Position der Verdampfer- bzw. Dampferzeugerrohre (10, 16, 17) in der Brennkammer (4) des Horizontalgaszugs (6) und/oder des Vertikalgaszugs (8) gewählt ist.
15. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem in dem Horizontalgaszug (6) eine Anzahl von Überhitzerheizflächen (50) in hängender Bauweise angeordnet ist.
16. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei dem in dem Vertikalgaszug (8) eine Anzahl von Konvektionsheizflächen (52) angeordnet ist.
17. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei dem in dem Vertikalgaszug (8) ein Economizer (28) angeordnet ist.
18. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, bei dem die Brenner (70) an der Stirnwand (9A) der Brennkammer (4) angeordnet sind.
19. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, bei dem die durch den Abstand von der Stirnwand (9A) der Brennkammer (4) zum Eintrittsbereich (72) des Horizontalgaszugs (6) definierte Länge (L) der Brennkammer (4) mindestens gleich der Ausbrandlänge des Brennstoffs (B) beim Vollastbetrieb des Dampferzeugers (2) ist.
20. Dampferzeuger (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 19, bei dem die Länge (L) der Brennkammer (4) als Funktion des BMCR-Werts (W), der Ausbrandzeit (t_A) der Brenner (70) und/oder der Austrittstemperatur (T_{BRK}) des Heizgases (H) aus der Brennkammer (4) näherungsweise gemäß den beiden Funktionen (I) und (II)

$$L(W, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot W) \cdot t_A \quad \text{(I) und}$$

$$L(W, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4)W + C_5 (T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad \text{(II)}$$

mit

$$C_1 = 8 \text{ m/s und}$$

$$C_2 = 0,0057 \text{ m/kg und}$$

$$C_3 = -1,905 \cdot 10^{-4} \text{ (m} \cdot \text{s)/(kg}^\circ\text{C) und}$$

$$C_4 = 0,286 \text{ (s} \cdot \text{m)/kg und}$$

$$C_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/(}^\circ\text{C)}^2 \text{ und}$$

$$C_6 = -0,842 \text{ m/}^\circ\text{C und}$$

$$C_7 = 603,41 \text{ m}$$

gewählt ist, wobei für einen BMCR-Wert (W) der jeweils größere Wert der Länge (L) der Brennkammer (4) gilt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

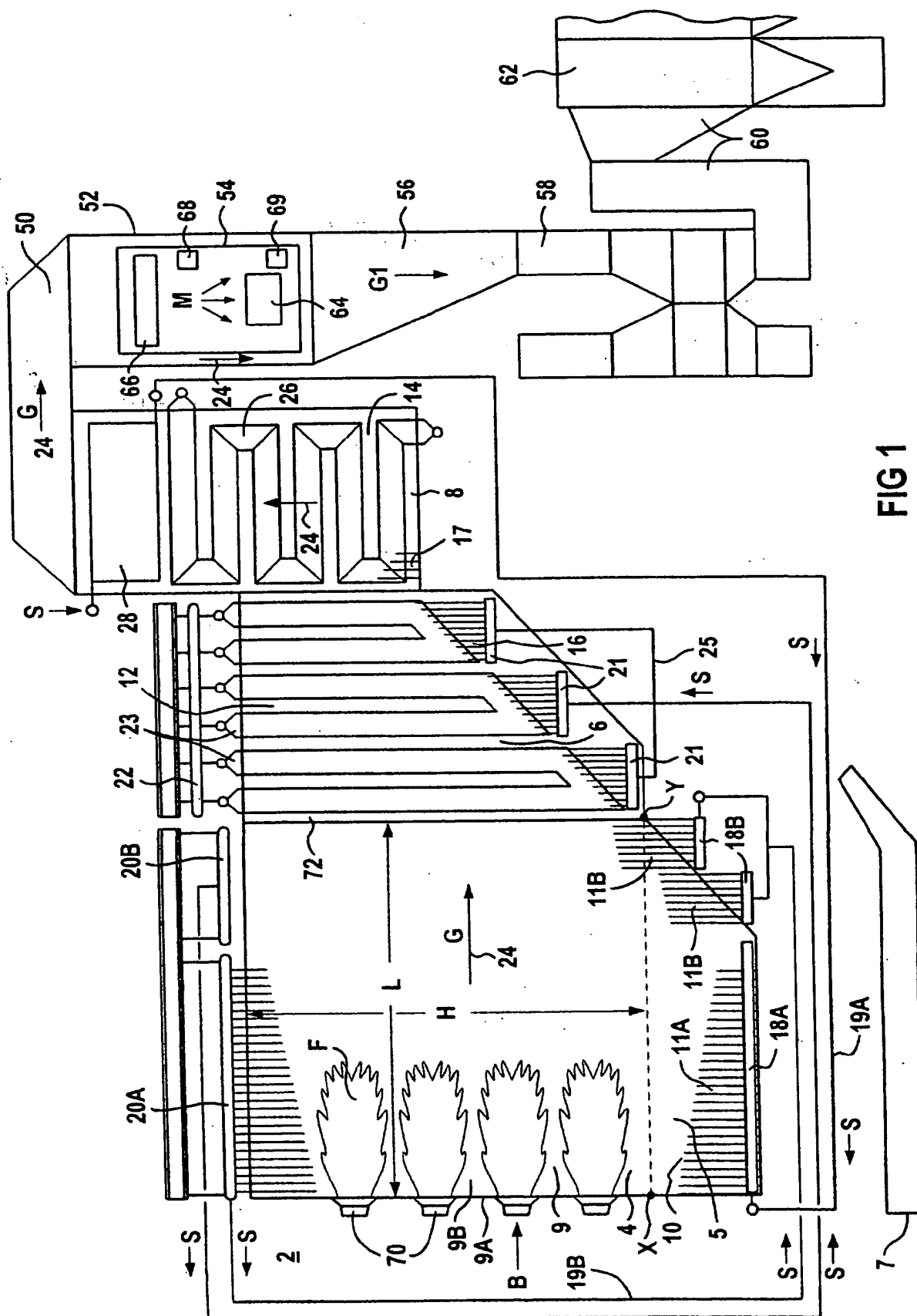


FIG 1

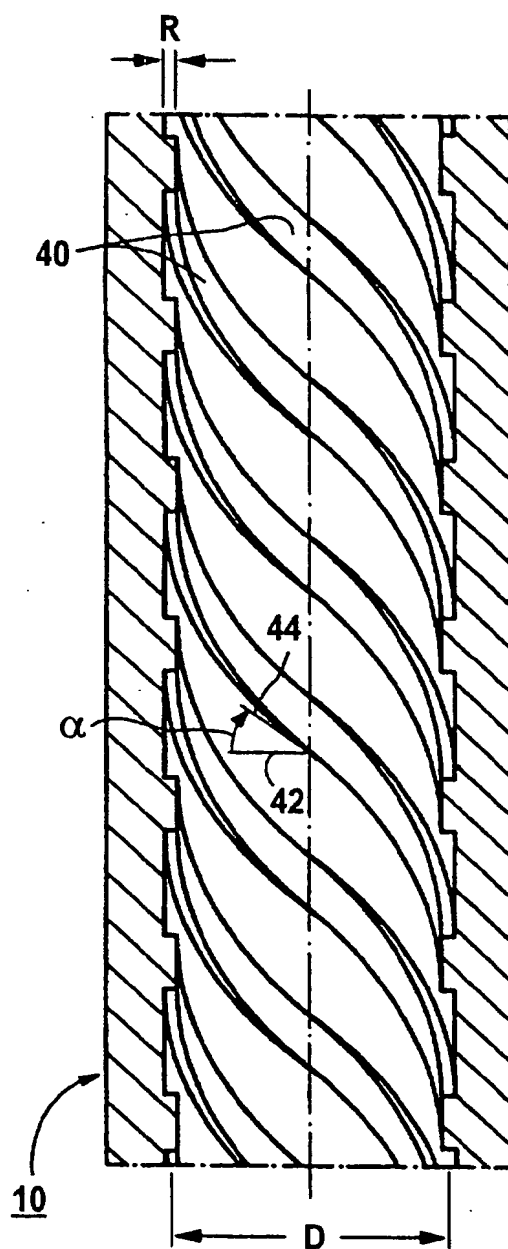
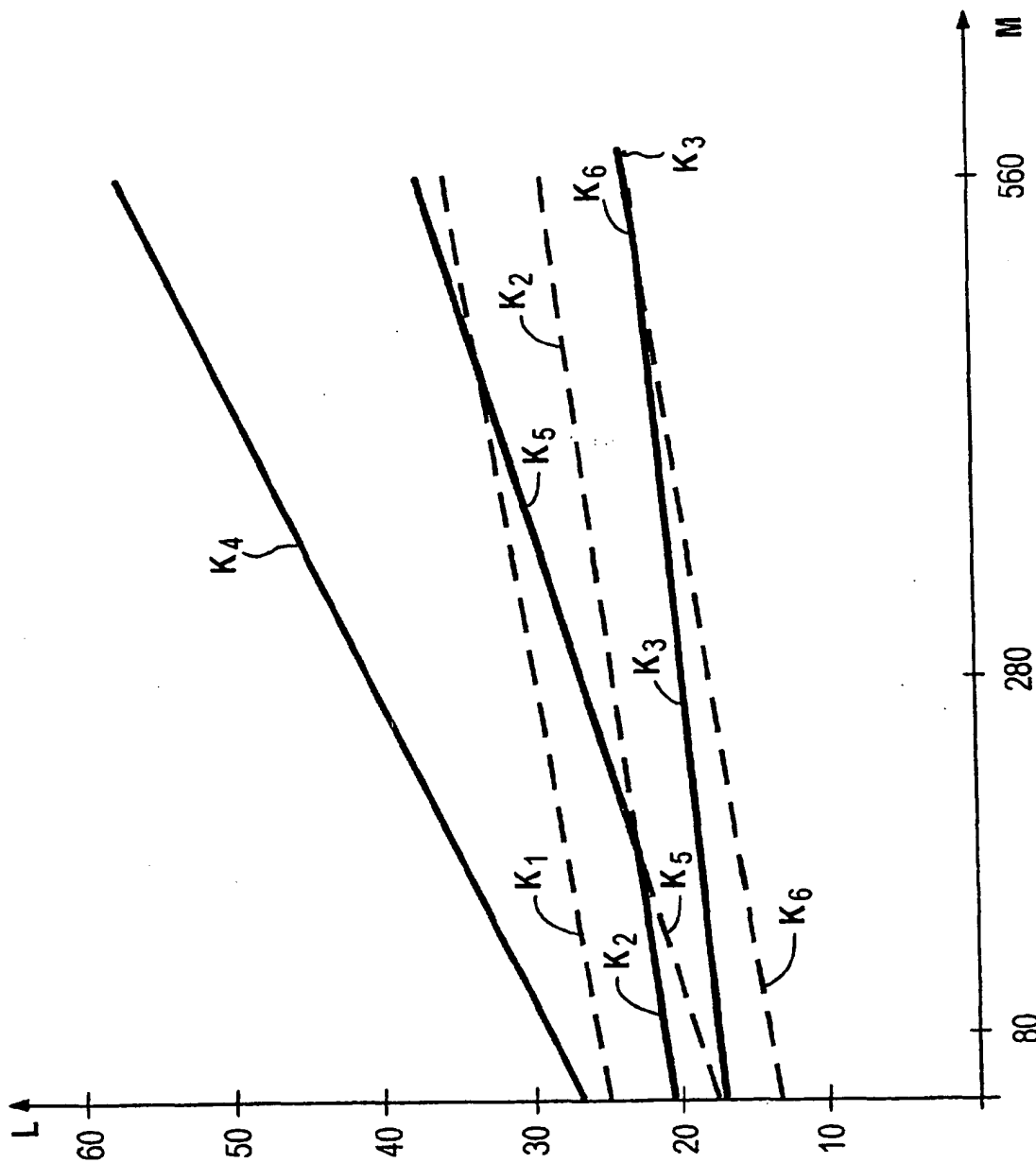


FIG 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)